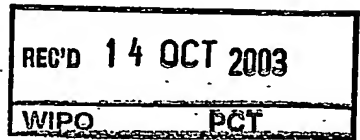


# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 21 385.6

**Anmeldetag:** 12. Mai 2003

**Anmelder/Inhaber:** Continental Teves AG & Co oHG,  
Frankfurt am Main/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Erhöhen der Stabilität eines Fahr-  
zeugs

**Priorität:** 05.07.2002 DE 102 30 259.6

**IPC:** B 62 D, B 60 T

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. September 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brosig

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**BEST AVAILABLE COPY**

### **Verfahren zum Erhöhen der Stabilität eines Fahrzeugs**

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Erhöhen der Stabilität eines Fahrzeugs und ein ABS Regelverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 16.

Die Erfindung betrifft dabei ein Verfahren zur Stabilisierung eines Fahrzeugs und Verkürzung des Bremswegs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten.

Bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen (d.h. Fahrbahnen mit unterschiedlichen Reibwerten auf der linken bzw. rechten Fahrzeugseite) treten aufgrund der unterschiedlichen Reibwerte (rechts - links) asymmetrische Bremskräfte auf. Aus diesen asymmetrischen Bremskräften resultiert ein Giermoment um die Fahrzeughochachse, welches das Fahrzeug in eine Gierbewegung in Richtung der Straßenseite mit dem höheren Reibwert versetzt (siehe Bild 1).

Fahrzeuge ohne das elektronische Bremssystem ABS werden in solchen Fahrsituationen instabil, da beim Blockieren der Räder die Seitenführungskraft der Reifen verloren geht und somit das, durch die asymmetrischen Bremskräfte entstandene Giermoment zur Hochreibwertseite das Fahrzeug in schnelle Drehbewegungen um die Fahrzeughochachse versetzt (Schleudern).

- 2 -

Bei Fahrzeugen mit dem elektronischen Bremssystem ABS wird bei Bremsungen in diesen kritischen Situationen das Schleudern verhindert, weil durch das Vermeiden blockierender Räder die Seitenführungskraft der Räder erhalten bleibt. Das Giermoment um die Fahrzeughochachse, resultierend aus den asymmetrischen Bremskräften, wird dadurch aber nicht kompensiert, sondern der Fahrer muss dies durch Gegenlenken bewerkstelligen. Um den Fahrer in solch kritischen Fahrsituationen (plötzliches Auftreten des Giermoments) nicht zu überfordern, wird die ABS-Regelstrategie in solchen Fahrsituationen angepasst: Während dem Anbremsen wird an der Vorderachse der Druckaufbau derart gesteuert, daß die Druckschere (Druckdifferenz) an der Vorderachse zwischen dem Rad auf der Hoch- und Niedrigreibwertseite nur langsam aufgebaut wird. Dies führt dazu, dass sich das Giermoment um die Fahrzeughochachse nur langsam aufbaut und dem Fahrer ausreichend Zeit zum Gegenlenken bleibt (Giermomentbegrenzung an der Vorderachse). Gleichzeitig wird die Hinterachse derart unterbremst, dass an beiden Rädern nur der Bremsdruck des Rades auf der Niedrigreibwertseite zugelassen wird (SelectLow). Dadurch steht an der Hinterachse immer ausreichend Seitenführungspotential zur Verfügung und das Fahrzeug ist durch Lenkeingriffe (Gegenlenken) für den Fahrer leicht zu stabilisieren. Durch diese beiden ABS-Maßnahmen (Giermomentbegrenzung und SelectLow, prinzipielle Druckverläufe siehe Bild 2a bzw. 2b) wird aber sehr viel Bremsleistung verschenkt, da das Reibwertpotential der Hochreibwertseite nicht ideal ausgenutzt wird. Dies resultiert in einem deutlich verlängerten Bremsweg, der dennoch als Vorteil anzusehen ist, gegenüber einem Fahrzeug ohne ABS, welches instabil wird.

Diese, den Bremsweg verlängernde Giermomentenaufbauverzögerung kann bei Anwendung einer Kompensation durch einen vom Fahrer unabhängigen, selbsttätigen Lenkeingriff entfallen oder verringert werden. Hierzu ist es aus der DE 40 38 079 A1 bekannt, das bei einer ABS Regelung in einer  $\mu$ -Splitt Fahrsituation auftretende Giermoment zumindest teilweise dadurch zu kompensieren, dass ein von der Differenz der getrennt eingeregelter Bremsdrücke abhängiger Kompensations-Lenkwinkel eingestellt bzw. dem vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel überlagert wird. Der autonome Kompensations-Lenkwinkel (automatisches Gegenlenken) verbessert die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen. Dazu ist ein aktives Lenksystem notwendig, d.h. ein Lenksystem mit dem sich aktiv und unabhängig von der Fahrervorgabe ein zusätzlicher Lenkwinkel an den Rädern erzeugen lässt. Dies ist beispielsweise mit einer Überlagerungslenkung oder einem Steer-by-Wire Lenksystem möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Regelung zu schaffen, die die Beherrschbarkeit des Fahrzeugs bei Bremsungen auf inhomogenen Fahrbahnen verbessern und komfortabler gestalten.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass bei den Lenkeingriffen ein Störgrößen-Kompensationsanteil bei den Kompensations-Lenkwindeln berücksichtigt wird, der aus dem Bahnverlauf( bzw. dem Fahrzustand) des Fahrzeugs ermittelt wird.

Dieser Störgrößen-Kompensationsanteil beruht auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs und ist Bestandteil einer Kompensations-Lenkwindelanforderung, die mindestens zwei Störgrößen-

- 4 -

Kompensationsanteile umfasst. Dabei erfolgt über die von Sensoren erfassten und in einem Modell der Fahrdynamikregelung logisch verknüpften und analysierten Messdaten, in die Daten eines Kraftfahrzeugs einbezogen werden können, aus dem Vergleich eines Sollgiersignals mit einem Istgiersignal eine Generierung des zweiten Störgrößen-Kompensationslenkwinkelanteils für ein aktives Lenksystem ( z.B. Überlagerungslenkung oder Steer by Wire Lenkung), dessen Aktuator entsprechend einer Kompensations-Lenkwinkelanforderung verstellt wird und damit den vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkel überlagert. Solche aktiven Lenksysteme können sowohl an der Vorderachse, als auch an der Hinterachse oder an allen Rädern des Fahrzeugs zum Einsatz kommen.

Das Verfahren sieht vorteilhaft vor, dass ein erster Störgrößen-Kompensationsanteil der Kompensations-Lenkwinkelanforderung  $\Delta\delta_{GMK}$  unter Einbeziehung von Bremskraft-Differenzen an den gebremsten Rädern ermittelt wird, dass der zweite Störgrößen-Kompensationsanteil aus dem Bahnverlauf (bzw. Fahrzustand) des Fahrzeugs ermittelt wird und dass der Lenkwinkel in Abhängigkeit von den Störgrößen-Kompensationsanteilen modifiziert wird. Dabei wird der erste und zweite Störgrößen-Kompensationsanteil vorzugsweise in einem Addierer addiert und der Regelung bzw. Steuerung zur Lenkungskorrektur des vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkels zur Verfügung gestellt.

Zur genauen Ermittlung des zweiten Kompensationsanteils ist vorgesehen, dass der zweite Kompensationsanteil in einer Vorrichtung ermittelt wird, die eine Referenz-Fahrzeugmodellschaltung aufweist, in der die zur Festlegung des Bahnverlaufs erforderlichen Eingangsgrößen, wie Fahr-

- 5 -

zeuggeschwindigkeit, Lenkwinkel, ggf. Reibwert eingegeben werden, welche aufgrund eines in der Referenz-Fahrzeugmodellschaltung befindlichen, die Eigenschaften des Fahrzeugs nachbildenden Fahrzeugmodells einen Sollwert für eine Regelgröße bestimmt und bei der dieser Sollwert in einem Vergleich mit einem gemessenen Wert für diese Regelgröße verglichen wird, wobei in einem Fahrzustandsregler der zweite Kompensationsanteil des Lenkwinkels  $\Delta\delta_{FB}$  aus dem Vergleichswert (Regelgröße) berechnet wird. Vorteilhaft ist dabei, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit und/oder die Querbeschleunigung und/oder der Schwimmwinkel und/oder deren Ableitungen als Sollwert für die Regelgröße bestimmt wird.

Der ermittelte Gesamt-Kompensations-Lenkwinkel berücksichtigt die Bewegung vom Fahrzeug im Raum (Fahrzeugzustand), wobei die Kompensationsanteile aus zwei Größen so ermittelt werden, dass der erste Kompensationsanteil  $\Delta\delta_{FFW}$  unter Einbeziehung eines auf Basis unterschiedlicher Bremskräfte ermittelten Störgiermoments  $M_z$  bestimmt wird und der zweite Anteil  $\Delta\delta_{FB}$  unter Einbeziehung des Fahrzeuggierverhaltens ermittelt wird.

Das Lenkwinkel-Korrekturverfahren ist vorteilhaft so aufgebaut, dass der erste Kompensationsanteil als Steueranteil und der zweite Kompensationsanteil als Regelanteil vorgesehen sind.

Dabei wird das Störgiermoment  $M_z$  durch eine logische Verknüpfung der Radeinschlagwinkel der gelenkten Räder, den Bremsdrücken und dem Drehverhalten der Räder ermittelt wird. Aus den eingesteuerten Bremsdrücken werden die Bremskräfte

- 6 -

nach der Beziehung

$$\hat{F}_{x,i} = f\{r, B, p_i, J_{whl}, \dot{\omega}_i\}$$

mit

$\hat{F}_{x,i}$  = Bremskraft an einem Rad i

$r$  = dynamischer Reifenradius

$B$  = Bremsenkennwert

$p_i$  = Radbremsdruck

$J_{whl}$  = Trägheitsmoment des Rades

$\dot{\omega}_i$  = Drehbeschleunigung eines Rades i

oder

$$\hat{F}_{x,i} = f\{r, B, p_i\}$$

vorteilhaft ermittelt. Das Störgiermoment wird in Abhängigkeit von den Bremskräften nach der Beziehung

$$\hat{M}_z = f\{\hat{F}_{FL}, s_{FL}, \hat{F}_{FR}, s_{FR}, l_F, \hat{F}_{RL}, s_{RL}, \hat{F}_{RR}, s_{RR}, \delta\}$$

mit

$\hat{F}_{FL}$  = Bremskraft vorne links

$s_{FL}$  = halbe Spurweite des Vorderrades links

$\hat{F}_{FR}$  = Bremskraft vorne rechts

$s_{FR}$  = halbe Spurweite des Vorderrades rechts

$l_F$  = Abstand der Vorderachse vom Schwerpunkt

$\hat{F}_{RL}$  = Bremskraft hinten links

$s_{RL}$  = halbe Spurweite des Hinterrades links

$\hat{F}_{RR}$  = Bremskraft hinten rechts

$s_{RR}$  = halbe Spurweite des Hinterrades rechts

$\delta$  = Radeinschlagswinkel der gelenkten Räder

ermittelt.

Um die Dynamik des Lenkwinkel-Korrekturverfahrens zu verbessern, ist vorgesehen, dass die Kompensationsverstärkungen

$K_{FFW}$  der einzelnen, zurückgeführten Regelgrößen in Abhängig-

- 7 -

keit vom Fahrverhalten des Fahrzeugs angepasst werden. Hierbei wird die Regelgröße über die Fahrzeuggeschwindigkeit adaptiert, die über das Drehverhalten der Räder in Form einer Fahrzeugreferenzgeschwindigkeit bestimmt wird.

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung sieht vor, dass der zweite Kompensationsanteil  $\Delta \delta_{FB}$  der Lenkwinkelanforderung  $\Delta \delta_{GMK}$  aus einem auf der Gierratenabweichung  $\Delta \dot{\psi}$  beruhenden P-Anteil  $\Delta \delta_{FB,P}$  und aus einem auf der Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta \ddot{\psi}$  beruhenden D-Anteil ermittelt wird. Dabei wird der P-Anteil nach der Beziehung  $\Delta \delta_{FB,P} = K_{FB,P}(v) * \Delta \dot{\psi}$  ermittelt. Der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,P}(v)$  für die Rückführung der Regelgröße Gierratenabweichung  $\Delta \dot{\psi}$  erfolgt dabei in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit.

Vorteilhaft wird der D-Anteil nach der Beziehung  $\Delta \delta_{FB,D} = K_{FB,D}(v) * \Delta \ddot{\psi}$  ermittelt wobei der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,D}(v)$  für die Rückführung der Regelgröße Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta \ddot{\psi}$  in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit erfolgt.

Das Verfahren zum Erhöhen der Fahrstabilität eines Fahrzeugs weist mindestens eine ABS Regelungs-Funktion auf, um vorteilhaft ein ABS Regelverfahren so durchführen zu können, dass bei einem durch Bremsvorgänge mit unterschiedlichen Bremsdrücken bzw. -kräften an den einzelnen Rädern hervorgerufener Fahrzustand, der aus dem ermittelten Bremskraft-Unterschied bestimmt wird, so durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15 weiterzubilden, dass durch einen Eingriff in ein steuerbares bzw. regelbares Lenksystem des



- 8 -

Fahrzeugs die aus dem Fahrzustands resultierenden Instabilitäten zumindest teilkompensiert werden. Die ABS Regelungsfunktion ist dabei vorteilhaft Bestandteil einer ESP Regelung.

Die Korrektur des Lenkwinkels wird zugelassen, wenn die Fahrsituation mit Seitenweise unterschiedlichen Reibwerten ( $(\mu - \text{Split})$ ) erkannt wurde. Die Erkennung eines Fahrzustands mit einer durch unterschiedliche Bremsdrücke bzw. -kräfte hervorgerufenen Abweichung zwischen Fahrzeugbewegung und Lenkwunsch des Fahrers wird ermittelt und Lenkeingriffe zugelassen, wenn mindestens die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Bremslichtschalter-Signal vorhanden
  - b) Bremslichtschalter-Sensor in Ordnung
  - c) Bremsung durch Fahrer erkannt
  - d) mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung. Innerhalb der Aktivierung des Lenkwinkelkorrektur-Verfahrens wird zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt unterschieden. Das ABS Regelverfahren erkennt eine Geradeausfahrt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
    - e) wenn für einen Zeitraum  $X_a$ :
      - e1) ein Vorderrad in der ABS-Regelung ist und das andere Vorderrad nicht in ABS-Regelung ist
      - e2) wenn beide Vorderräder im ersten ABS-Zyklus sind und die Druckdifferenz an der Vorderachse größer als ein Grenzwert ist
    - f) wenn für einen Zeitraum
- beide Vorderräder in ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck aufweist, der einen Grenzwert überschreitet und der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad höher als der des Blockierdruck des anderen Vorderrads ist.

Es erkennt eine Kurvenfahrt, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

g) das kurvenäußeres Vorderrad kommt zeitlich vor dem kurveninneren Vorderrad in die ABS-Regelung

wenn für einen Zeitraum

h) beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck aufweist, der einen Grenzwert überschreitet und der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad höher als der Blockierdruck des kurvenäußeren Vorderrads ist.

Zur Deaktivierung des Lenkwinkelkorrektur-Verfahrens muß mindestens eine der folgenden Forderungen erfüllt sein, damit die aktiven Lenkeingriffe beendet werden:

i) kein Vorderrad ist in der ABS-Regelung

j) es liegt keine Bremslichtschalter-Signal vor

k) der Bremslichtschalter-Sensor ist defekt

l) die Bremsung durch Fahrer wird nicht erkannt.

Vorzugsweise mittels des ABS Regelverfahrens kann die ABS Bremsdruckregelung in  $\mu$ -Split Fahrsituationen modifiziert werden. Die Erfindung sieht daher eine ABS Bremsdruckregelung mit Einzelradregelung wenigstens an einer Fahrzeugachse vor, bei der aufgrund von unterschiedlichem Reibwert auf den beiden Fahrzeugseiten die bei der ABS Regelung auftretende Abweichung zwischen Fahrzeugbewegung und Lenkwunsch des Fahrers zumindest teilweise dadurch kompensiert wird, dass ein Kompensationslenkwinkel ermittelt und dem Fahrzeuglenkwinkel vorzugsweise unter Verwendung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20 überlagert wird, gekennzeichnet durch die Schritte

Zulassen von hohen Druckaufbaugradienten am Hochreibwertrad

- 10 -

Zulassen von Druckunterschieden an der Hinterachse nach der Beziehung  $\Delta p_{HA} = f(\dot{\psi}, \delta_{Hd}, v)$ .

Um die ABS Regelungs-Funktion in jeder Situation aufrecht zu erhalten und damit die Lenkfähigkeit des Fahrzeugs in Bremssituationen mit hohem Bremsdruck weiter bestehen bleibt, ist vorgesehen, dass bei Ausfall des steuerbaren bzw. regelbaren Lenksystems auf die herkömmliche ABS Regelstrategie zurückgegriffen wird.

Eine Einrichtung sieht einen Fahrdynamikregler mit mindestens einer ABS-Funktion, vorzugsweise einer einer ESP- und ABS-Funktion, vor, die mit einem Regler und/oder einer Steuerung zur Lenkungs Korrektur verbunden sind, wobei die Einrichtung so ausgebildet ist, dass sie eine erste Ermittlungseinheit zum Ermitteln des vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkels aufweist  
eine zweite Ermittlungseinheit zum Ermitteln eines Störgrößenkompensations-Lenk winkels auf der Basis von Bremskräften und/oder Bremsdrücken aufweist,  
eine dritte Einrichtung zum Ermitteln eines Störgrößenkompensations-Lenk winkels auf der Basis des Fahrzeug-Gierverhaltens aufweist und  
eine Logikeinheit zum Verknüpfen der ersten und zweiten Störgrößenkompensations-Lenk winkels zu einer Kompensations-Lenk winkelanforderung aufweist.

Durch die Verfahren und Einrichtungen werden die folgenden Vorteile erreicht:

- 11 -

- Durch das automatische Gegenlenken des Regelsystems wird der Fahrer entlastet, so dass er idealerweise keinerlei Korrekturen mehr vornehmen muss.
- Die Aufteilung in Störgrößenkompensation und überlagerte Fahrzustandsregelung bewirkt als wesentlicher Vorteil, dass mit Hilfe der Störgrößenaufschaltung sofort nach Auftreten der Störung darauf reagiert werden kann, und nicht erst, wenn das Fahrzeug droht instabil zu werden. Durch die überlagerte Fahrzustandsregelung wird das Gesamtverhalten des Fahrzeugs verbessert und Störungen, die von der reinen Steuerung (Störgrößenkompensation) nicht kompensiert werden können, werden hierdurch ausgeglichen.
- Durch das im Vergleich zum Fahrer viel schnellere Erkennen der Situation und Gegenlenken durch das Regelsystem, kann vom elektronischen Bremssystem ABS das Reibwertpotential an den einzelnen Rädern wesentlich besser ausgenutzt werden. Hierzu werden die ABS-Strategien auf inhomogenen Fahrbahnen derart angepasst, dass an der Vorderachse ein viel schnellerer Druckaufbau am Rad auf der Hochreibwertseite zugelassen wird und an der Hinterachse eine Druckdifferenz abhängig vom Radeinschlagwinkel, der Fahrgeschwindigkeit und den Fahrzustandsgrößen zugelassen wird (aufgeweichtes SelectLow). Durch das bessere Ausnutzen des Reibwertpotentials vor allem auf der Hochreibwertseite, ergeben sich wesentlich kürzere Bremswege.
- Durch den Einsatz des Regelsystems in Kombination mit einem aktiven Lenksystem und den angepassten ABS-Regelstrategien ist es möglich, den bei Bremsungen auf inhomogenen Reibwerten auftretenden Zielkonflikt zwischen Gegenlenkaufwand für den Fahrer und Bremswegver-

- 12 -

kürzung weitgehend aufzulösen. Es ergeben sich für den Fahrer deutliche Vorteile im Sicherheitsbereich (Bremswegverkürzung und Fahrzeugstabilität) sowie im Komfortbereich (Gegenlenkaufwand für Fahrer)

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der asymmetrischen Bremskräfte eines Fahrzeugs und des daraus resultierenden Störgiermoments bei einer  $\mu$ -Split Fahrbahn

Fig. 2a den Druckverlauf an der Vorderachse bei aktiver Giermomentbegrenzung nach dem Stand der Technik,

Fig. 2b den Druckverlauf an der Hinterachse bei aktivem select low nach dem Stand der Technik,

Fig. 3 ein Blockschaltbild mit der Darstellung des Regelsystems mit Störgrößenaufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung,

Fig. 4 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der Störgrößenaufschaltung mit Schätzung des Störgiermoments,

Fig. 5 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der Überlagerten Fahrzustandsregelung

Fig. 6 ein Blockschaltbild mit der Darstellung der Bestimmung der Druckdifferenz an der Hinterachse aus dem fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs

Fig. 7a den Druckverlauf an der Vorderachse mit angepasster Giermomentbegrenzung nach der Erfindung

Fig. 7b den Druckverlauf an der Hinterachse aufgrund der Modifizierung des select low nach der Erfindung

Fig. 8 eine Darstellung der Fahrzeuggeometrie

Fig. 9 eine Darstellung des ABS-Regelzyklus

Die Bestimmung des, für das automatische Gegenlenken notwendigen, Radeinschlagwinkels erfolgt von einer Recheneinheit (Figur 3), welche den Radeinschlagwinkel aus zwei Anteilen (Störgrößenaufschaltung und überlagerte Fahrzustandsregelung) zusammensetzt.

Der erste Anteil ergibt sich mit Hilfe einer Störgrößenaufschaltung bzw. Störgrößenkompensation des während der Bremsung durch die asymmetrischen Bremskräfte hervorgerufenen Störgiermoments. Dieses Störgiermoment wird zuerst aus den Bremsdruckinformationen der einzelnen Räder geschätzt (Gleichungen 1 und 2). Dazu wird ein elektronisches Bremssystem benötigt, welches entweder die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern modellbasiert schätzt bzw. beobachtet, die Bremsdrücke an den einzelnen Rädern mit Hilfe von Drucksensoren misst oder ein Brake-by-Wire System (EHB/EMB), welches auf diesen Größen basiert. Die Bestimmung des Störgiermo-

- 14 -

ments beruht nach Gleichung 2 auf den Bremskräften an den Rädern. Die Bremskräfte können wie in Gleichung 1 aus den Bremsdruckinformationen berechnet werden oder es können auch Systeme zum Einsatz kommen, welche direkt die Bremskräfte messen (z.B. Seitenwandtorsionssensor, Radnaben, o.ä.). Aus dem geschätzten Störgiermoment wird abhängig von Fahrstandsgrößen (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Bremsdruckdifferenz zwischen Hoch- und Niedrigreibwert, mittleres Bremsdruckniveau, u.s.w.) der zur Kompensation des Störgiermoments nötige Radeinschlagwinkel berechnet (Figur 4). Die Störgrößenaufschaltung agiert aus querdynamischer Sicht als reine Steuerung. Dies bewirkt, dass das Störgiermoment nicht in allen Fällen ideal kompensiert wird, da es sich mit anderen Störungen und Ungenauigkeiten überlagert, die nicht erfasst werden (z.B. Ungenauigkeiten durch Veränderungen des Bremsscheibenreibwerts).

Daher wird der Störgrößenaufschaltung wie in Figur 3 dargestellt eine Fahrzustandsregelung überlagert. Diese Fahrzustandsregelung bestimmt abhängig von der Gierrate und optional zusätzlich auch von der Querbefleunigung bzw. dem Schwimmwinkel des Fahrzeugs einen zusätzlichen Radeinschlagwinkel (Figur 5). Der Regler arbeitet adaptiv, d.h. abhängig von beispielsweise der Fahrzeuggeschwindigkeit werden die Reglerverstärkungen der einzelnen zurückgeführten Fahrzustände angepasst.

Diese beiden Lenkwinkel-Stellanforderungen (aus Störgrößenaufschaltung und überlagelter Fahrzustandsregelung) werden addiert und vom aktiven Lenksystem eingestellt. Die Bestimmung des zur Stabilisierung benötigten Radeinschlagwinkels und das Einstellen des Radeinschlagwinkels geschieht dabei viel schneller als ein Durchschnittsfahrer die entsprechende

- 15 -

Situation erkennen und per Gegenlenken darauf reagieren kann. Diese schnelle Reaktion des Regelsystems und des aktiven Lenksystems ermöglichen es, das elektronische Bremssystem ABS derart anzupassen, dass an den einzelnen Rädern (besonders auf der Hochreibwertseite) das Reibwertpotential besser ausgenutzt werden kann.

Hierzu werden die Regelstrategien des ABS auf inhomogenen Reibwerten modifiziert:

Die Giermomentbegrenzung an der Vorderachse wird stark abgeschwächt, so dass sich an der Vorderachse schnell ein großer Druckunterschied zwischen dem Rad auf der Hoch- und dem der Niedrigreibwertseite aufbaut (hoher Druckaufbaugradient am Hochreibwertrad). Nahezu gleichzeitig zum Aufbau des Druckunterschieds entsteht ein Giermoment um die Fahrzeughochachse. Aufgrund der Schätzung des Störgiermoments aus der Bremsdruckinformation oder mit Hilfe von direkt die Reifenkräfte messenden Systemen wird vom Regelsystem sofort gegengelenkt, noch bevor der Fahrer die Situation am Gierverhalten des Fahrzeugs erkennen kann. Als zweite Maßnahme zur Erreichung einer besseren Bremsleistung wird auch das Select-Low modifiziert und zwar derart, daß auch an der Hinterachse eine Druckdifferenz zugelassen wird. Diese Druckdifferenz wird aber nicht zu jeder Zeit zugelassen, sondern abhängig vom Lenkwinkel, der Fahrzeuggeschwindigkeit und von Fahrstandsgrößen begrenzt (Gleichung 3, Figur 6). Zeigt der Radeinschlagwinkel zur Niedrigreibwertseite und dreht sich das Fahrzeug in Richtung Niedrigreibwertseite, so wird eine Druckdifferenz an der Hinterachse zugelassen. Dadurch ergibt sich auf der Hochreibwertseite eine größere Bremskraft, das Störgiermoment vergrößert sich und gleichzeitig vermindert sich an diesem Rad das Seitenkraftpotential. Durch das größere Störgiermoment stoppt die Drehung in Richtung Niedrigreibwertseite und das Fahrzeug beginnt eine Drehung in



- 16 -

Richtung Hochreibwertseite. Durch das Drehen in Richtung Hochreibwertseite verringert sich gleichzeitig wieder die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse und somit die Bremskraft auf der Hochreibwertseite, was wiederum zu mehr Seitenkraftpotential am Hinterrad auf der Hochreibwertseite führt. Hierdurch und durch die überlagerten Lenkeingriffe des Regelsystems im Zusammenspiel mit dem aktiven Lenksystem wird das Fahrzeug stabilisiert. Der Fahrer kann aber trotzdem, je nach seinen Lenkvorgaben in Richtung Hoch- oder Niedrigreibwertseite fahren. Damit am Hinterrad auf der Hochreibwertseite nicht zu viel Seitenkraftpotential verloren gehen kann, wird die durch die fahrdynamische Aufweichung des SelectLow's zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse auf eine Maximaldruckdifferenz begrenzt.

Diese Modifikationen in der ABS-Regelstrategie (sowohl hoher Druckaufbaugradient bei der Giermomentbegrenzung an der Vorderachse, sowie das je nach Fahrzustand aufgeweichte SelectLow an der Hinterachse) bewirken eine wesentlich verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Reibwertpotentials. Hierdurch lässt sich eine signifikante Bremswegverkürzung erzielen.

Bei Ausfall des aktiven Lenksystems wird auf die herkömmliche ABS-Regelstrategie zurückgegriffen (Giermomentbegrenzung und SelectLow).

Das Lenkwinkel-Korrektursystem arbeitet wie folgt:

Die Aktivierung des Verfahrens zur Kompensations-Lenkwinkelkorrektur wird in Abhängigkeit von einer erkannten  $\mu$ -Split Situation freigegeben. Die Erkennung einer  $\mu$ -Split

- 17 -

Fahrsituation basiert nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel auf folgenden Sensorsignalen:

- Bremslichtschaltersignal (BLS)
- Drucksensorsignal des Tandemhauptzylinders (THZ)
- Drucksensorsignale der Radbremskreise
- Raddrehzahlsensoren
- Gierratesensor(en)
- Querbeschleunigungssensor(en)
- interner ESP-Status (ESP-Signale bezüglich ESP-Eingriffe)

Mittels Gierrate und Querbeschleunigung wird zwischen einer Geradeausfahrt und einer Kurvenfahrt (Rechts- oder Linkskurve) unterschieden. Dabei müssen in Abhängigkeit von der Geradeausfahrt oder Kurvenfahrt folgende Signale vorliegen, um die Kompensations-Lenkwinkelkorrektur zu aktivieren:

Die Fahrsituation  $\mu$ -Split wird bei Geradeausfahrt wie folgt erkannt:

BLS-Signal liegt vor, BLS-Sensor ist in Ordnung, Bremsung durch Fahrer wird erkannt und

mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung

oder wenn nach Überschreitung eines ersten zeitabhängigen Grenzwertes ein Vorderrad in ABS-Regelung ist und

das andere Vorderrad nicht in der ABS-Regelung ist

oder wenn beide Vorderräder im ersten ABS-Zyklus sind

und die Druckdifferenz an der Vorderachse größer als

ein erster druckabhängiger Grenzwert ist

oder wenn nach Überschreitung eines zweiten zeitabhängigen Grenzwertes beide Vorderräder in der ABS-Regelung

sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-

- 18 -

Blockierdruck von größer als ein zweiter druckabhängiger Grenzwert aufweist und der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad mindestens das 2-fache des Blockierdrucks des anderen Vorderrads ist

Eine bereits erkannte Fahrsituation  $\mu$ -Split bei Geradeausfahrt wird wie folgt zurückgesetzt:

Es ist kein Vorderrad in ABS-Regelung oder es liegt kein BLS-Signal vor oder der BLS-Sensor ist defekt oder die Bremsung durch Fahrer wird nicht erkannt -

oder es liegt ein BLS-Signal vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch den Fahrer wird erkannt und nach Überschreitung eines zeitabhängigen Grenzwerts ist der ABS-Blockierdruck an beiden Vorderrädern kleiner als ein druckabhängiger Grenzwert oder der ABS-Blockierdruck an einem Vorderrad ist nicht mehr mindestens das 2-fache des Blockierdrucks des anderen Vorderrads.

Die Fahrsituation  $\mu$ -Split wird bei Kurvenfahrt wie folgt erkannt:

Das BLS-Signal liegt vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch Fahrer wird erkannt und mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung und

das kurvenäußere Vorderrad kommt zeitlich vor dem kurveninneren Vorderrad in ABS-Regelung  
oder

wenn für länger als eine vorgegebene Zeitdauer beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck von mehr als einen Grenz-

- 19 -

druck aufweist und der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad mindestens das 1,1-fache des Blockierdrucks des kurvenäußeren Vorderrads ist

Eine bereits erkannte Fahrsituation  $\mu$ -Split bei Kurvenfahrt wird wie folgt zurückgesetzt:

Es ist kein Vorderrad in der ABS-Regelung oder es liegt kein BLS-Signal vor oder der BLS-Sensor ist defekt oder die Bremsung durch Fahrer wird nicht erkannt

oder das BLS-Signal liegt vor und der BLS-Sensor ist in Ordnung und die Bremsung durch Fahrer wird erkannt und für länger als eine vorgegebene Zeitdauer ist der ABS-Blockierdruck an beiden Vorderrädern kleiner als ein Grenzbremsdruck oder der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad ist nicht mehr mindestens das 1,1-fache des Blockierdrucks des kurvenäußeren Vorderrads.

### **Kompensations-Lenkanforderung**

Zur Aktivierung einer GMK-Lenkanforderung muss zuvor die Fahrsituation  $\mu$ -Split erkannt sein und die GMK muss aktiviert worden sein, so wie vorstehend beschrieben. Die GMK-Lenkwinkelankforderung  $\Delta\delta_{\text{GMK}}$  basiert auf zwei Anteilen: Der erste Anteil  $\Delta\delta_{\text{FFW}}$  bestimmt sich mittels einer Störgrößenkompensation (Steueranteil), die das wirkende Störgiermoment kompensiert. Diesem Steueranteil ist ein, auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs basierender, Regelanteil  $\Delta\delta_{\text{FB}}$  überlagert. Die beiden nachfolgend beschriebenen Anteile (Steuer-

- 20 -

und Regelanteil) werden addiert und ergeben die gesamte GMK-Lenkanforderung  $\Delta\delta_{\text{GMK}}$  zu

$$\Delta\delta_{\text{GMK}} = \Delta\delta_{\text{FFW}} + \Delta\delta_{\text{FB}}.$$

Die GMK-Lenkanforderung basiert auf folgenden Sensorsignalen:

- Drucksensorsignalen in jedem Radbremskreis
- Gierratensignalen
- Sollenkwinkelsignalen VARI
- Summenlenkwinkelsignalen LWS4
- Raddrehzahlsensorsignalen
- Querschleunigungssignalen
- BLS-Signalen
- Drucksensorsignalen des THZ
- ESP-Status (ESP-Eingriffe)
- ESP-Status (Eispurmodell-Reset)

#### **Steueranteil (Störgrößenkompensation)**

Der Steueranteil der GMK-Lenkanforderung entspricht einer Störgrößen-Kompensation. Dabei wird das als Störgröße wirkende Störgiermoment  $M_z$ , welches aus den asymmetrischen Bremskräften herrührt, durch direkte Rückführung über die Kompensationsverstärkung  $K_{\text{FFW}}(\bar{p}_{\text{FA}})$  weitgehend kompensiert. Das geschätzte Störgiermoment ist dabei die direkte Eingangsgröße für die Zusatzlenkwinkelanforderung  $\Delta\delta_{\text{FFW}}$  des GMK-Steueranteils (FFW = Feed Forward Control). Es gilt die Beziehung

$$\Delta\delta_{\text{FFW}} = K_{\text{FFW}}(\bar{p}_{\text{FA}}) \cdot M_z.$$

Das Störgiermoment wird mit Hilfe der kinematischen Starrkörperbeziehungen aus den Bremskräften der einzelnen Räder und dem Radeinschlagswinkel der Vorderräder geschätzt. Die statischen Bremskräfte der einzelnen Räder werden aus den ABS-Blockierdrücken der einzelnen Räder und den Dimensionen der Radbremse bestimmt. Zur Berechnung der dynamischen Bremskräfte müssen zusätzlich noch die Radbeschleunigungen berücksichtigt werden. Die Bestimmung der ABS-Blockierdrücke später beschrieben.

Der Kompensationsverstärkungsfaktor  $K_{FFW}(\bar{p}_{FA})$  wird über dem mittleren Bremsdruck an der Vorderachse adaptiert. Wenn beide Vorderräder in ABS-Regelung sind, entspricht der mittlere Bremsdruck der Vorderachse dem insgesamt (linke und rechte Fahrzeugseite gemittelt) zur Verfügung stehenden Reibwertpotential. Dieses Reibwertpotential hat wiederum auf den mit der aktiven Lenkung einzustellenden Kompensationslenkwinkel Einfluss.

Die Zusatzlenkwinkelanforderung  $\Delta\delta_{FFW}$  wird bei kleinen Fahrgeschwindigkeiten (zwischen 10 und 2 km/h) linear bis auf  $\Delta\delta_{FFW} = 0$  ausgefadet.

#### Zusammenfassung Steueranteil:

Der GMK-Lenkanteil basierend auf der Störgrößenkompensation ist im wesentlichen vom Radeinschlagswinkel der Vorderräder und von den ABS-Blockierdrücken, welche wie in Abschnitt 3 beschrieben, im wesentlichen auf den Drucksensorsignalen und den ABS-Phaseninformationen (bestimmt aus den Raddrehzahlsensorsignalen) basieren, abhängig.

**Regelanteil**

Der auf dem Gierverhalten des Fahrzeugs basierende Regelanteil  $\Delta\delta_{FB}$  der GMK-Lenkanforderung besteht aus einem P-Anteil  $\Delta\delta_{FB,P}$  (Regelgröße Gierratenabweichung) und einem D-Anteil  $\Delta\delta_{FB,D}$  (Regelgröße Gierbeschleunigungsabweichung). Die nachfolgend beschriebenen P- und D-Anteile addieren sich zum gesamten Regelanteil  $\Delta\delta_{FB}$  wie folgt

$$\Delta\delta_{FB} = \Delta\delta_{FB,P} + \Delta\delta_{FB,D}.$$

**P-Anteil (Gierratenabweichung)**

Die Regelgröße für den P-Anteil ist die Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$ . Für den aus dem P-Anteil resultierenden GMK-Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz

$$\Delta\delta_{FB,P} = K_{FB,P}(v) \cdot \Delta\dot{\psi}.$$

Die Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  ist als Differenz von gemessener Gierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{ist}$  und der aus dem Fahrerrichtungswunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzung) bestimmten Referenzgierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{ref}$  (Einspurmodell) definiert und ergibt sich somit zu

$$\Delta\dot{\psi} = \dot{\psi}_{ist} - \dot{\psi}_{ref}.$$

Die Ist-Gierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{ist}$  wird direkt mit einem Gierratensensor gemessen. Der Gierratensensor ist mit einem

- 23 -

Querbeschleunigungssensor in einem Sensorcluster, in welchem sowohl die Gierrate sowie auch die Querbeschleunigung mit redundanten Sensorelementen gemessen werden.

Die Referenzgierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{\text{ref}}$  wird mit Hilfe eines Einspurmodells des Fahrzeugs bestimmt. Die wichtigsten Eingangsgrößen für das Einspurmodell sind der Fahrerrichtungswunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzungsanteile) und die Fahrzeuggeschwindigkeit. Der aktuelle Reibwert der Fahrbahn wird mit Hilfe der gemessenen Querbeschleunigung bestimmt und das sich daraus ergebende Reibwertpotential wird im Einspurmodell bei der Berechnung der Referenzgierrate berücksichtigt.

Der Verstärkungsfaktor  $K_{\text{FB,P}}(v)$  für die Reglerrückführung der Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  wird über der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst wird dies ~~in~~ der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

#### **D-Anteil (Gierbeschleunigungsabweichung)**

Die Regelgröße für den D-Anteil ist die Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$ . Für den aus dem D-Anteil resultierenden GMK-Lenkanforderungsanteil gilt das Regelgesetz



- 24 -

$$\Delta\delta_{\text{FB,D}} = K_{\text{FB,D}}(v) \cdot \Delta\ddot{\psi}.$$

Die Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$  wird durch Differentiation der Gierratenabweichung  $\Delta\dot{\psi}$  ermittelt

$$\Delta\ddot{\psi} = \frac{d}{dt} \Delta\dot{\psi} = \frac{d}{dt} (\dot{\psi}_{\text{ist}} - \dot{\psi}_{\text{ref}}).$$

Die Gierbeschleunigungsabweichung basiert somit auf den gleichen Signalquellen wie die Gierratenabweichung: Gemessene Ist-Gierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{\text{ist}}$  und der Referenzgierrate des Fahrzeugs  $\dot{\psi}_{\text{ref}}$ , die ihrerseits unmittelbar vom Fahrerlenkungswunsch (Fahrerlenkwinkel inklusive variabler Lenkübersetzungsanteile) und der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt. (Berücksichtigung des aktuellen Reibwerts der Fahrbahn mittels gemessener Querbeschleunigung).

Der Verstärkungsfaktor  $K_{\text{FB,D}}(v)$  für die Reglerrückführung der Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta\ddot{\psi}$  wird über der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit adaptiert. Da die Fahrzeuggeschwindigkeit das Fahrverhalten des Fahrzeugs wesentlich beeinflusst wird dies in der Reglerverstärkung und somit auch im über den Regler geschlossenen Regelkreis des Fahrzeugs berücksichtigt.

### **Zusammenfassung Regelanteil**

Der GMK-Regelanteil  $\Delta\delta_{\text{FB}}$  basiert im wesentlichen auf dem Signal des Gierratensensors, des Fahrerwunschlenkwinkels inklusive variabler Lenkübersetzung und der Fahrzeuggeschwindigkeit, die ihrerseits auf den Signalen der Raddrehzahlsensoren basiert.

### **Berechnung des ABS-Blockierdrucks**

Als ABS-Blockierdruck wird der Bremsdruck am Rad bezeichnet, bei dem das Rad zum blockieren neigt. Ist der Reibwert während einer ABS-Bremsung annähernd homogen, so pendelt der Bremsdruck am Rad immer um den ABS-Blockierdruck. Die Ermittlung des ABS-Blockierdrucks geschieht für jedes Rad individuell wie folgt:

Wenn das Rad nicht im ersten ABS-Regelzyklus ist und vom ABS erkannt wird, dass das Rad instabil ist und somit zum Blockieren neigt (ABS-Phase 2) und wenn das Rad in der Regel-Loop davor nicht auch schon in Phase 2 oder Phase 4 war, dann werden mindestens 85%, vorzugsweise 95% des aktuellen Raddrucks als ABS-Blockierdruck des Rads eingefroren. Ist das Rad weder in ABS-Regelung oder im ersten ABS-Regelzyklus, so wird anstelle des ABS-Blockierdrucks der Raddruck verwendet. Wenn das Rad in ABS-Regelung ist, aber nicht in Phase 2 ist, so wird das Maximum aus letztem ABS-Blockierdruck und 95% des Raddrucks verwendet, da bei Druckaufbauphasen der Raddruck größer werden kann, als der letzte ABS-Blockierdruck. Wenn ein Rad für länger als eine Zeidauer im Bereich zwischen 90 und 110 ms instabil ist (Phase 2), so wird nicht weiter der ABS-Blockierdruck verwendet, sondern der Raddruck, da sich der Raddruck durch die anhaltende Druckabbauphase viel zu weit vom ABS-Blockierdruck entfernt hat.

Ist der Raddruck weniger als 50% des letzten ABS-Blockierdrucks oder beträgt der Bremsschlupf des Rads mehr als 50%, so wird auch auf den Raddruck zurückgegriffen (Erkennung eines Reibwertübergangs von Hochreibwert zu Niedrigreibwert).

Wenn an dem Rad ein ESP-Eingriff stattfindet, wird der ABS-Blockierdruck nicht mitgeführt, sondern konstant gehalten.

Wenn der Fahrer nicht mehr bremst, so werden die ABS-Blockierdrücke auf null zurückgesetzt.

Zusammenfassung:

Die Bestimmung des Blockierdrucks basiert im wesentlichen auf den Drucksensorsignalen und die benötigte ABS-Phaseninformation basiert im wesentlichen den Raddrehzahl-sensoren.

ABS-Phaseninformationen und ABS-Regelzyklus:

ABS-Phase	Zustand des Rads	ABS-Aktion
Phase 0	keine ABS-Regelung	ungepulster Druckaufbau
Phase 1 aus 0	keine ABS-Regelung, leichte Raddynamik	gepulster Druckaufbau
Phase 2	Rad instabil, tiefer Schlupfeinlauf am Rad	Druckabbau
Phase 4	Rad instabil, Rad läuft aus dem Schlupf	Druck halten, gepulster Druckaufbau
Phase 3	Rad stabil, wenig Schlupf am Rad	gepulster Druckaufbau
Phase 1 aus 3	Rad zeigt leichte Dynamik	Druck halten
Phase 5 aus 0	Rad dreht über	ungepulster Druckaufbau
Phase 5 aus 3	Rad dreht über	ungepulster Druckaufbau

**Gleichungen:****1. Schätzung der Bremskräfte aus den Bremsdrücken:**

Bilanzgleichung eines Rads bei Vernachlässigung von Antriebsmoment und unter der Annahme, daß die Radaufstandskraft im Radaufstandspunkt angreift

$$J_{whl} \dot{\omega}_i = M_{br,i} + F_{x,i} r_{whl}.$$

Daraus ergibt sich mit dem Bremsmoment  $M_{br,i} = B^* p_i$  für die Schätzung der Umfangskraft  $\hat{F}_{x,i}$  aus Bremsdruck und Radbeschleunigung

$$\hat{F}_{x,i} = \frac{1}{r} B^* p_i + \frac{1}{r} J_{whl} \dot{\omega}_i.$$

Bei geringeren Genauigkeitsanforderungen kann der dynamische Anteil  $\frac{1}{r} J_{whl} \dot{\omega}_i$  vernachlässigt werden und stationär ergibt sich für die Bremskraft der Zusammenhang

$$\hat{F}_{x,i} = \frac{B^*}{r} p_i.$$

**2. Schätzung des Störgiermoments aus den Bremskräften**

Das Störgiermoment ergibt sich mit dem Radeinschlagswinkel  $\delta$  und der Fahrzeuggeometrie nach Abbildung 8 zu

$$\hat{M}_z = \cos(\delta) [\hat{F}_{FL} s_{FL} - \hat{F}_{FR} s_{FR}] - \sin(\delta) [\hat{F}_{FL} l_F + \hat{F}_{FR} l_F] + \hat{F}_{RL} s_{RL} - \hat{F}_{RR} s_{RR}.$$

3. SelectLow:

An der Hinterachse wird abhängig vom fahrdynamischen Zustand eine Druckdifferenz zugelassen. Für die zugelassene Druckdifferenz an der Hinterachse gilt

$$\Delta p_{HA} = f(\dot{\psi}, \delta_{whl}, v).$$

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Erhöhen der Fahrstabilität eines Fahrzeugs bei gebremster Fahrt, bei dem anhand von mehreren Eingangsgroßen Kompensations-Lenkwinkel für ein regelbares und/oder steuerbares Lenksystem ermittelt werden, so dass durch Lenkeingriffe die Fahrstabilität des Fahrzeugs erhöht wird, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei den Lenkeingriffen ein Störgrößen-Kompensationsanteil bei den Kompensations-Lenkwindeln berücksichtigt wird, der aus dem Bahnverlauf(Fahrzustand) des Fahrzeugs ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet** durch die Schritte  
Ermitteln eines ersten Störgrößen-Kompensationsanteils der Kompensations-Lenkwindelanforderung  $\Delta\delta_{GMK}$  unter Einbeziehung von Bremskraft-Differenzen an den gebremsten Rädern, Ermitteln eines zweiten Störgrößen-Kompensationsanteils aus dem (Fahrzustand) Bahnverlauf des Fahrzeugs und Modifizieren des Lenkwinkels in Abhängigkeit von den Störgrößen-Kompensationsanteilen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der zweite Kompensationsanteil in einer Vorrichtung ermittelt wird, die eine Referenz-Fahrzeugmodellschaltung aufweist, in der die zur Festlegung des Bahnverlaufs erforderlichen Eingangsgroßen, wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkwinkel, ggf. Reibwert eingegeben werden, welche aufgrund eines in der Referenz-Fahrzeugmodellschaltung befindlichen, die Eigenschaften des Fahrzeugs nachbildenden Fahrzeugmodells einen Sollwert für eine Regelgröße be-

- 30 -

stimmt und bei der dieser Sollwert in einem Vergleich mit einem gemessenen Wert für diese Regelgröße verglichen wird, wobei in einem Fahrzustandsregler der zweite Kompensationsanteil des Lenkwinkels  $\Delta\delta_{FB}$  aus dem Vergleichswert (Regelgröße) berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Gierwinkelgeschwindigkeit und/oder die Querbeschleunigung und/oder der Schwimmwinkel als Sollwert für die Regelgröße bestimmt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass der erste Kompensationsanteil  $\Delta\delta_{FFW}$  unter Einbeziehung eines auf Basis unterschiedlicher Bremskräfte ermittelten Störgiermoments  $M_z$  bestimmt wird und der zweite Anteil  $\Delta\delta_{FB}$  unter Einbeziehung des Fahrzeuggierverhaltens ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, dass der erste Kompensationsanteil als Steueranteil und der zweite Kompensationsanteil als Regelan- teil vorgesehen sind.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Störgiermoment  $M_z$  durch eine logische Verknüpfung der Radeinschlagwinkel der gelenkten Räder, den Bremsdrücken und dem Drehverhalten der Räder ermittelt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Bremskräfte aus den Bremsdrücken nach der Beziehung

- 31 -

$$\hat{F}_{x,i} = f\{r, B, p_i, J_{whl}, \dot{\omega}_i\}$$

mit

$$\hat{F}_{x,i} = \text{Bremskraft an einem Rad } i$$

 $r$  = dynamischer Reifenradius $B$  = Bremsenkennwert $p_i$  = Radbremsdruck $J_{whl}$  = Trägheitsmoment des Rades $\dot{\omega}_i$  = Drehbeschleunigung eines Rades  $i$ 

oder

$$\hat{F}_{x,i} = f\{r, B, p_i\}$$

ermittelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Störgiermoment nach der Beziehung

$$\hat{M}_z = f\{\hat{F}_{FL}, s_{FL}, \hat{F}_{FR}, s_{FR}, l_F, \hat{F}_{RL}, s_{RL}, \hat{F}_{RR}, s_{RR}, \delta\}$$

mit

$$\hat{F}_{FL} = \text{Bremskraft vorne links}$$

 $s_{FL}$  = halbe Spurweite des Vorderrades links

$$\hat{F}_{FR} = \text{Bremskraft vorne rechts}$$

 $s_{FR}$  = halbe Spurweite des Vorderrades rechts $l_F$  = Abstand der Vorderachse vom Schwerpunkt

$$\hat{F}_{RL} = \text{Bremskraft hinten links}$$

 $s_{RL}$  = halbe Spurweite des Hinterrades links

$$\hat{F}_{RR} = \text{Bremskraft hinten rechts}$$

 $s_{RR}$  = halbe Spurweite des Hinterrades rechts $\delta$  = Radeinschlagswinkel der gelenkten Räder

ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch **gekennzeichnet**, dass die Kompensationsverstärkungen  $K_{FFW}$  der



einzelnen, zurückgeführten Regelgrößen in Abhängigkeit vom Fahrverhalten des Fahrzeugs angepasst werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch **gekennzeichnet**, dass der zweite Kompensationsanteil  $\Delta \delta_{FB}$  der Lenkwinkelanforderung  $\Delta \delta_{GMK}$  aus einem auf der Gierratenabweichung  $\Delta \dot{\psi}$  beruhenden P-Anteil  $\Delta \delta_{FB,P}$  und aus einem auf der Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta \ddot{\psi}$  beruhenden D-Anteil ermittelt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch **gekennzeichnet**, dass der P-Anteil nach der Beziehung

$$\Delta \delta_{FB,P} = K_{FB,P}(v) * \Delta \dot{\psi}$$

ermittelt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,P}(v)$  für die Rückführung der Regelgröße Gierratenabweichung  $\Delta \dot{\psi}$  in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit erfolgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der D-Anteil nach der Beziehung

$$\delta_{FB,D} = K_{FB,D}(v) * \Delta \ddot{\psi}$$

ermittelt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Verstärkungsfaktor  $K_{FB,D}(v)$  für die Rückführung der Regelgröße Gierbeschleunigungsabweichung  $\Delta \ddot{\psi}$  in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit erfolgt.

- 16.ABS Regelverfahren, wobei ein durch Bremsvorgänge mit unterschiedlichen Bremsdrücken bzw. -kräften an den einzelnen Rädern hervorgerufenen Gierverhalten, das aus dem ermittelten Bremskraft-Unterschied bestimmt wird, durch einen Eingriff in ein steuerbares bzw. regelbares Lenksystem des Fahrzeugs zumindest teilkompensiert wird **gekennzeichnet** durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15.
- 17.ABS Regelverfahren nach Anspruch 16, dadurch **gekennzeichnet**, dass ein Fahrzustand mit einem durch unterschiedliche Bremsdrücke bzw. -kräfte hervorgerufenen Gierverhalten ermittelt und Lenkeingriffe zugelassen werden, wenn mindestens die folgenden Bedingungen erfüllt sind:
- a) Bremslichtschalter-Signal vorhanden
  - b) Bremslichtschalter-Sensor in Ordnung
  - c) Bremsung durch Fahrer erkannt
  - d) mindestens ein Vorderrad ist in der ABS-Regelung.
- 18.ABS Regelverfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Geradeausfahrt erkannt wird, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
- e) wenn für einen Zeitraum  $X_a$ :
    - e1) ein Vorderrad in der ABS-Regelung ist und das andere Vorderrad nicht in ABS-Regelung ist
    - e2) wenn beide Vorderräder im ersten ABS-Zyklus sind und die Druckdifferenz an der Vorderachse größer als ein Grenzwert ist
  - f) wenn für einen Zeitraum beide Vorderräder in ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck aufweist, der einen Grenzwert überschreitet und der ABS-Blockierdruck an einem

- 34 -

Vorderrad höher als der des Blockierdruck des anderen Vorderrads ist.

19.ABS Regelverfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Kurvenfahrtfahrt erkannt wird, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

g) das kurvenäußeres Vorderrad kommt zeitlich vor dem kurveninneren Vorderrad in die ABS-Regelung

wenn für einen Zeitraum

h) beide Vorderräder in der ABS-Regelung sind und mindestens ein Vorderrad einen ABS-Blockierdruck aufweist, der einen Grenzwert überschreitet und der ABS-Blockierdruck am kurveninneren Vorderrad höher als der Blockierdruck des kurvenäußeren Vorderrads ist.

20.ABS Regelverfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch **gekennzeichnet**, dass mindestens eine der folgenden Forderungen erfüllt sein muss, damit die Lenkeingriffe beendet werden:

i) kein Vorderrad in ABS-Regelung

j) kein Bremslichtschalter-Signal

k) Bremslichtschalter-Sensor defekt

l) Bremsung durch Fahrer nicht erkannt

21.ABS Bremsdruckregelung mit Einzelradregelung wenigstens an einer Fahrzeugachse, bei der aufgrund von unterschiedlichem Reibwert auf den beiden Fahrzeugseiten ein bei der ABS Regelung auftretendes Gierverhalten zumindest teilweise dadurch kompensiert wird, dass ein Kompensationslenkwinkel ermittelt und dem Fahrzeuglenkwinkel vorzugsweise unter Verwendung der Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20 überlagert wird, **gekennzeichnet** durch die Schritte

- 35 -

Zulassen von hohen Druckaufbaugradienten am Hochreibwertrad

Zulassen von Druckunterschieden an der Hinterachse nach der Beziehung  $\Delta p_{HA} = f(\dot{\psi}, \delta_{wh}, v)$ .

22. ABS Bremsdruckregelung nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Ausfall des steuerbaren bzw. regelbaren Lenksystems auf die herkömmliche ABS Regelstrategie zurückgegriffen wird.

23. Fahrdynamikregler mit mindestens einer ESP und einer ABS Funktion, die mit einem Regler und/oder einer Steuerung zur Lenkungskorrektur verbunden sind, **gekennzeichnet** durch eine erste Ermittlungseinheit zum Ermitteln des vom Fahrer vorgegebenen Lenkwinkels  
eine zweite Ermittlungseinheit zum Ermitteln eines Störgrößenkompensations-Lenkswinkels auf der Basis von Bremskräften  
eine dritte Einrichtung zum Ermitteln eines Störgrößenkompensations-Lenkswinkels auf der Basis des Fahrzeug-Gierverhaltens aufweist und  
eine Logikeinheit zum Verknüpfen der ersten und zweiten Störgrößenkompensations-Lenkswinkel zu einer Kompensations-Lenkswinkelanforderung aufweist.

### **Zusammenfassung**

#### **Verfahren zum Erhöhen der Fahrstabilität eines Fahrzeugs**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erhöhen der Fahrstabilität eines Fahrzeugs bei gebremster Fahrt, bei dem anhand von mehreren Eingangsgrößen Kompensations-Lenkwinkel für ein regelbares und/oder steuerbares Lenksystem ermittelt werden, so dass durch Lenkeingriffe die Fahrstabilität des Fahrzeugs erhöht wird. Um eine komfortablere Regelung zu erreichen, ist vorgesehen, dass bei den Lenkeingriffen mindestens zwei Störgrößen-Kompensationsanteile bei den Kompensations-Lenk winkeln berücksichtigt werden, von denen ein Störgrößen-Kompensationsanteil aus dem Bahnverlauf des Fahrzeugs ermittelt wird. (Fig. 3)

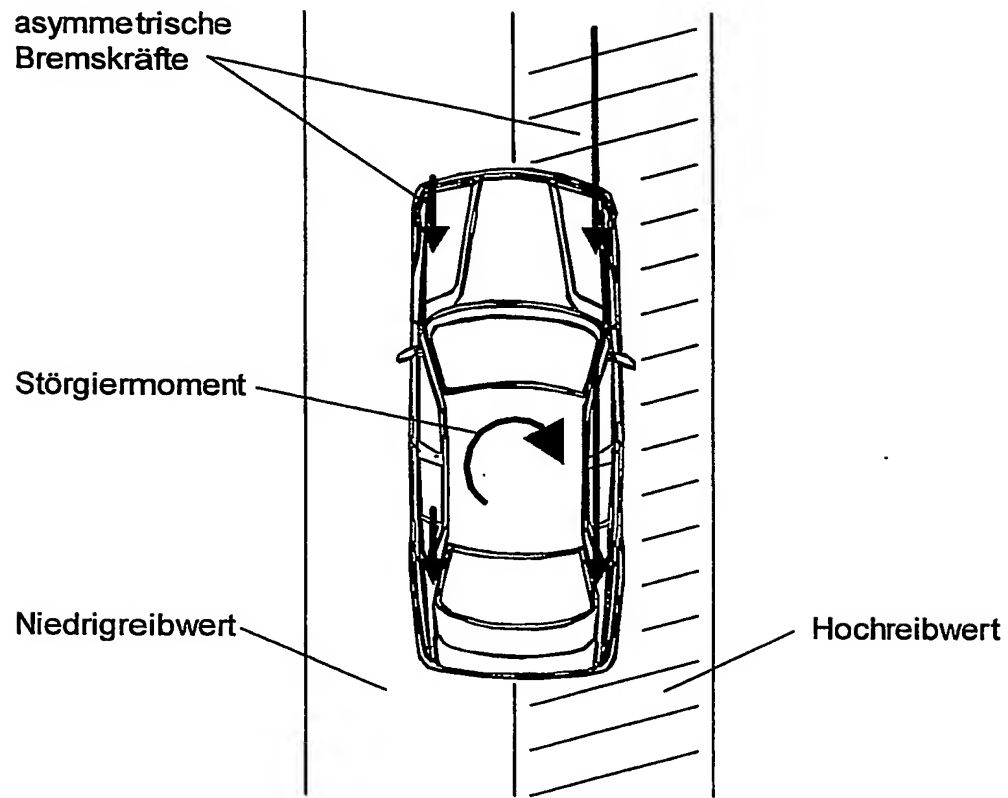


Bild 1: asymmetrische Bremskräfte und Störgierrmoment

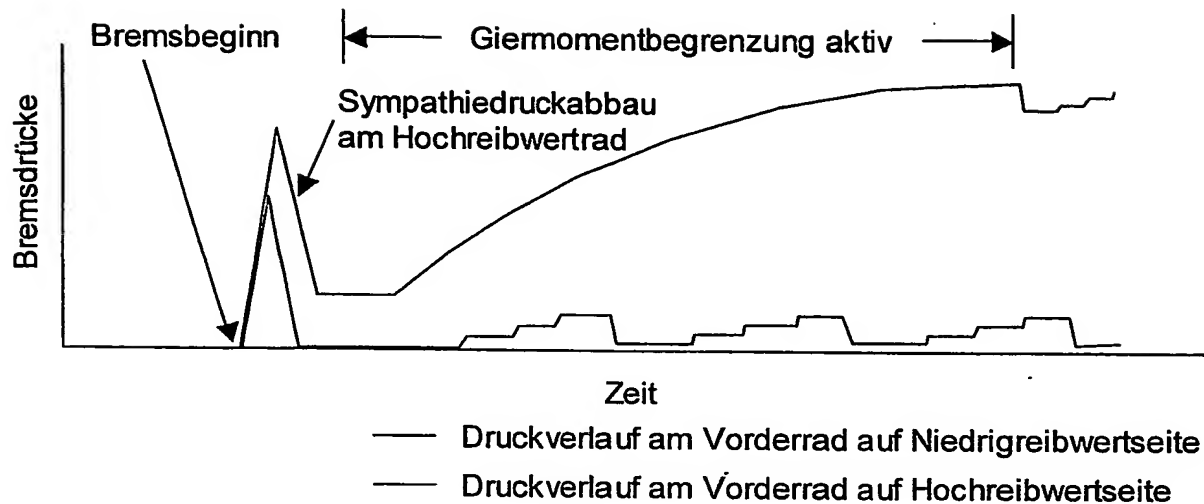


Bild 2a: Druckverlauf an Vorderachse bei aktiver Giermomentbegrenzung

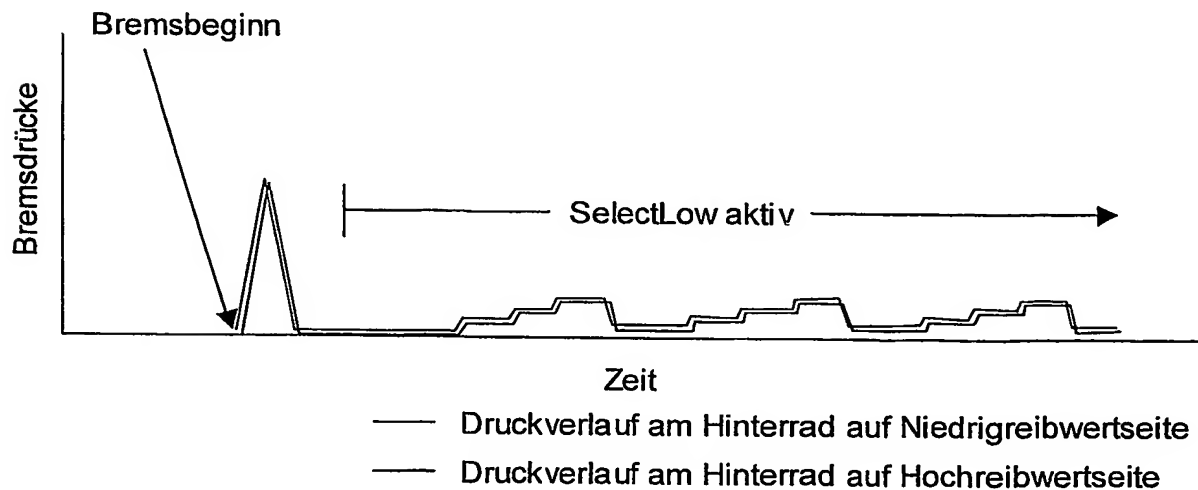


Bild 2b: Druckverlauf an Hinterachse bei aktivem SelectLow

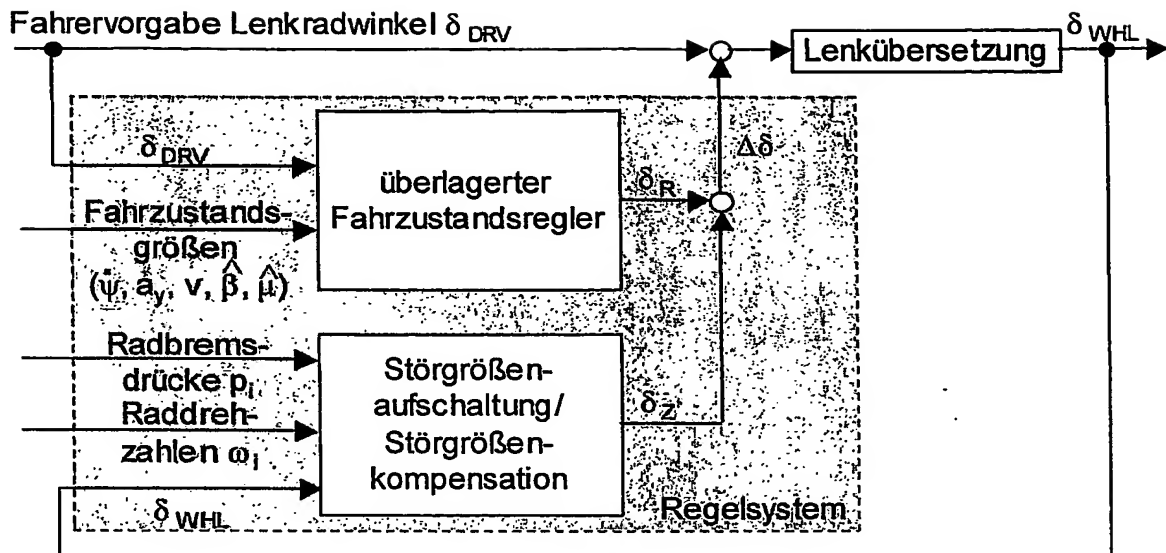


Bild 3: Blockschaltbild mit Darstellung des Regelsystems mit Störgrößen-aufschaltung und überlagerter Fahrzustandsregelung

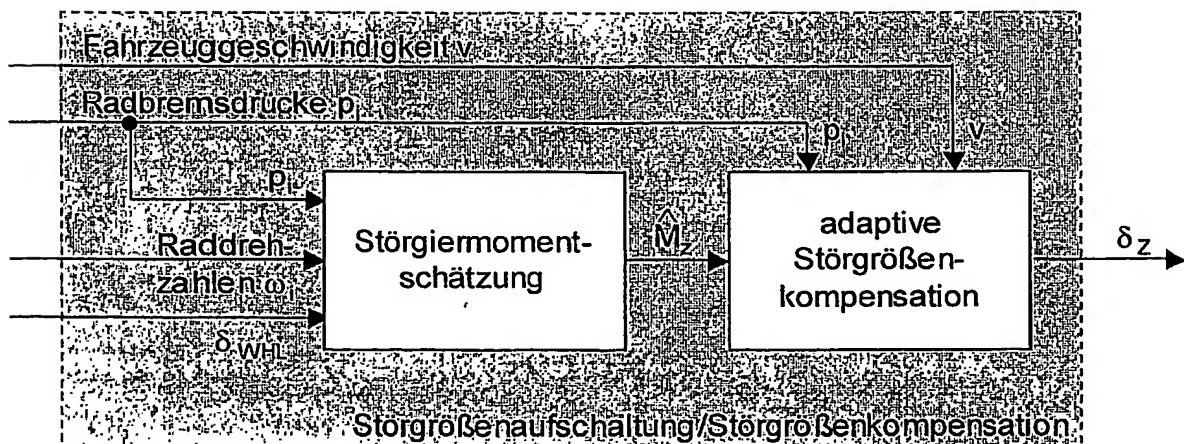


Bild 4: Störgrößen-aufschaltung mit Schätzung des Störgrößenmoments



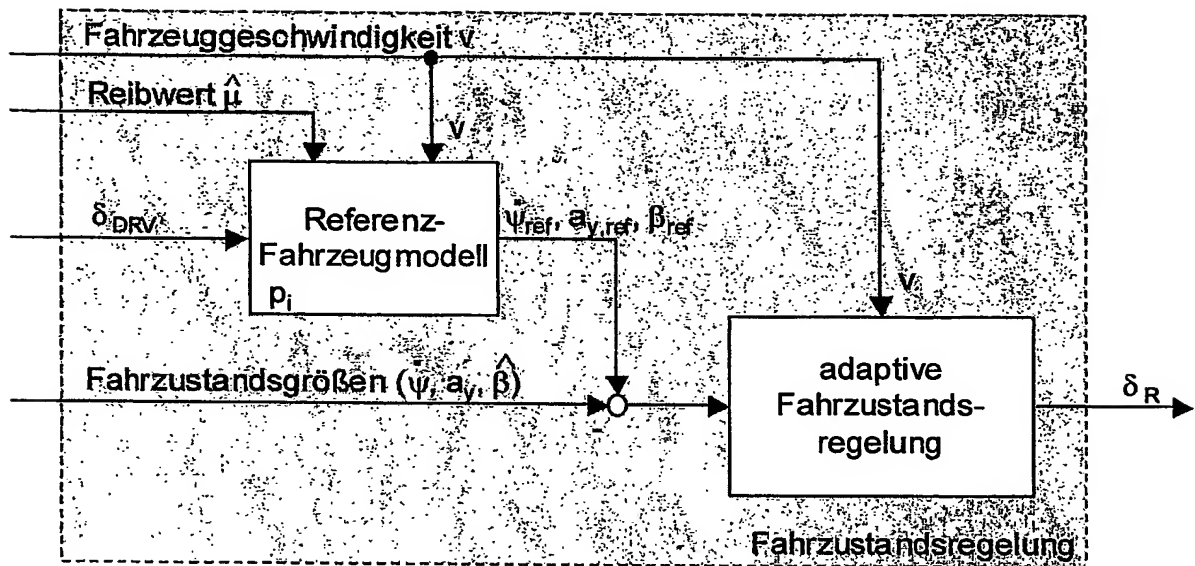


Bild 5: Überlagerte Fahrzustandsregelung

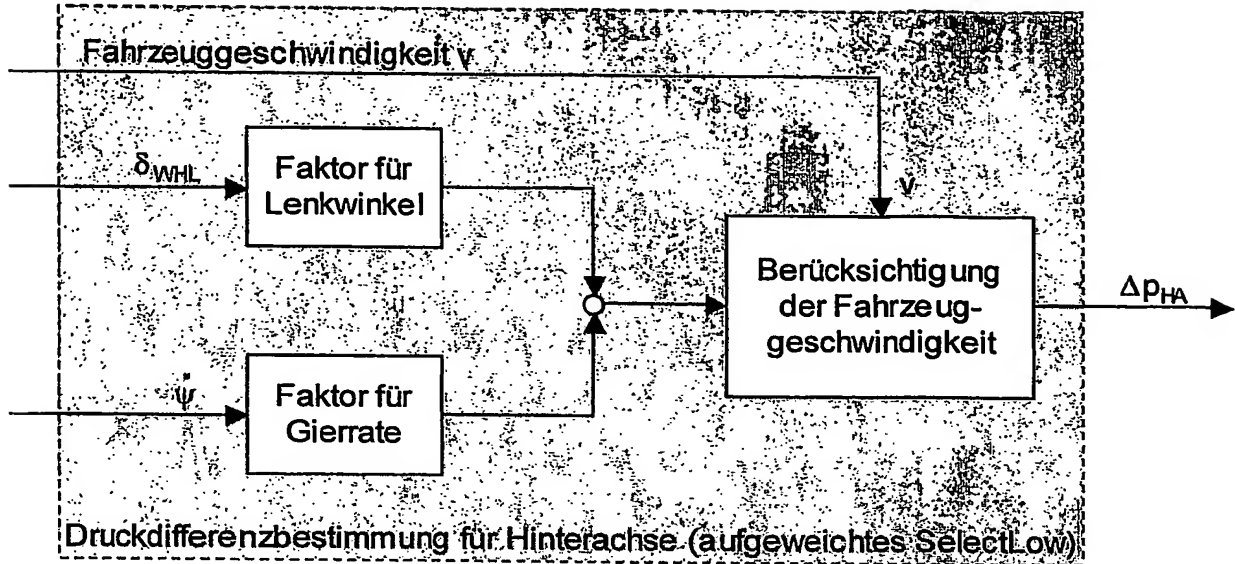


Bild 6: Bestimmung der Druckdifferenz an der Hinterachse aus dem fahrdynamischen Zustand des Fahrzeugs

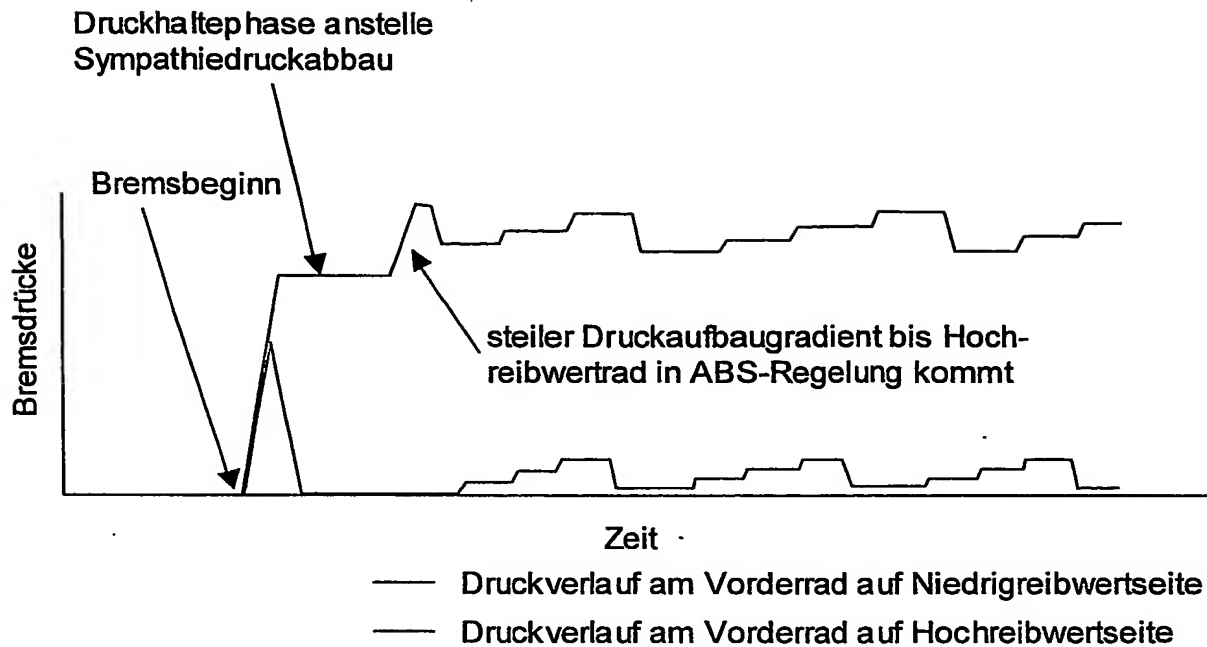


Bild 7a: Druckverlauf an Vorderachse mit angepaßter Gierrmomentbegrenzung  
(ermöglicht aufgrund automatischen Gegenlenken des Regelsystems)

- 43 -

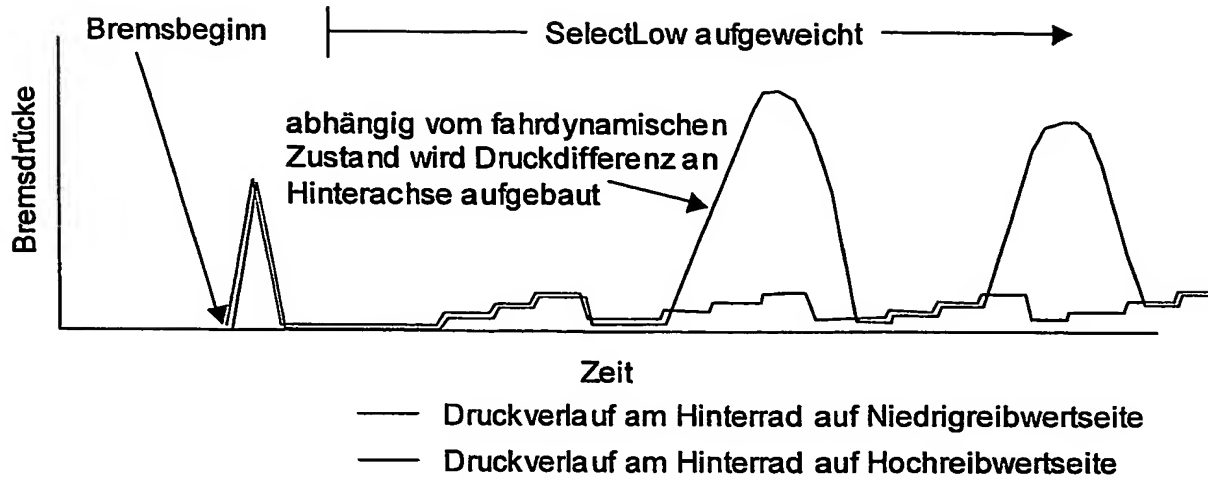


Bild 7b: Druckverlauf an Hinterachse aufgrund Aufweichung des SelectLows  
(ermöglicht durch automatisches Gegenlenken des Regelsystems)

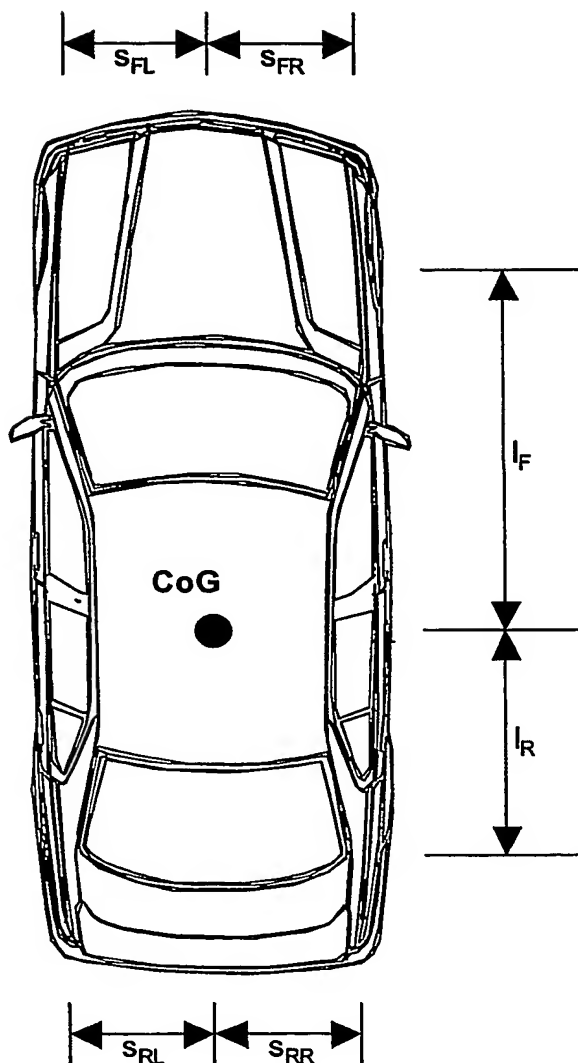


Bild 8: Fahrzeuggeometrie

Figur 9

ABS-Regelzyklus:

